落石作用に対する防護柵部材の保有エネルギーの時間的変化に関する解析的検討

ゼニス羽田株式会社　正会員　○松本　栞
ゼニス羽田株式会社　正会員　手嶋　良祐
ゼニス羽田株式会社　正会員　福永　一基

１．はじめに

近年，崩壊土砂防護施設として，設置個所が狭隘地であるなどといった理由からワイヤーロープ式の防護柵の設置事例が増加している．ワイヤーロープ式の防護柵は従来，落石防護施設として利用されていたことから，崩壊土砂防護施設であっても落石防護性能も要求されることが多い．そのため，崩壊土砂，落石それぞれの防護施設として性能照査が必要となるが，その性能照査手法は 2 者間で大きく異なる．前者は，「国土交通省告示第 332 号」[1]で示された土砂の衝突荷重や指針等で示された土砂の堆積荷重を算出し，各部材の応答値が許容値内に入ることを確認する許容応力度法を用いた照査が一般的であり，市販の表計算ソフトで照査が可能である．後者の性能照査手法は「落石対策便覧：日本道路協会」[2]に規定されており，実物実験により落石防護施設の性能照査を行い，実験と異なる設計条件の場合は実験結果と整合性が取れた数値解析的手法等による照査を必要とする．数値解析的手法には高度な非線形の数値解析ソフトを用いることが多く，解析能力と解析に掛かる多くの時間が必要となるが，設計者全てにその能力と時間を確保させることは非効率的である．本研究は崩壊土砂・落石兼用防護柵への落石作用に対する各部材のエネルギー吸収機構の理論モデルを実験と解析より解明し，理論モデルから簡易な設計モデルの構築，表計算ソフトレベルでの設計を可能にすることを最終目標として考えているが,本論文では第一段階として実験と解析の整合性を確認し，各部材が保有するエネルギーの時間的変化の比較をおこない，エネルギー吸収の流れを把握することを目的とした．

２．実物実験・解析概要

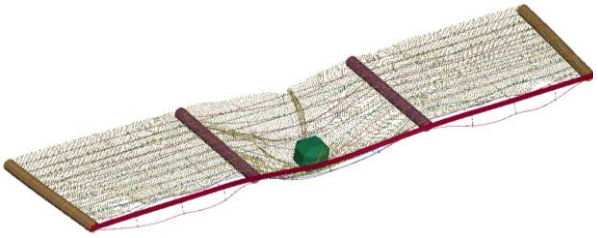
実物実験条件および解析条件を**表－1** に示す.重錘の衝突は自由落下による方法を採用し,重錘は 1 辺約 750mm,密度 2350kg/m^3 のコンクリート多面体（EOTA 準拠）とし,クレーンで供試体上方より落下させた.

表－1　実物実験および解析条件一覧

柵　高	3.0m
スパン間隔	5.0m
スパン数	3 スパン
衝突スパン	中間スパン
重錘質量	0.66t
落下高	32.0m
衝突速度	25.0m/s
衝突エネルギー	207kJ

３．解析モデル

LS－DYNA による解析モデルを**図－1** に示す．解析モデルの主な構成部材は支柱（コンクリート充填鋼管柱），ワイヤーロープ，ひし形金網としている．構成部材の要素は全てビーム要素としており，支柱については鋼管と RC 部分を別々のビーム要素として，節点を共有することで充填鋼管を模擬した.



図－1　解析モデル（重錘最大変位時）

４．実験と解析の応答値の比較

実験結果と解析結果の応答値のうち，重錘変位量，重錘速度，防護柵上から 3～6 段目ワイヤの作用張力を**図－2～4** で比較した．重錘変位量及び速度はほぼ一致する．ワイヤ張力は時間的なズレもあるが，張力が発生段数や最大値はほぼ一致している.

キーワード　落石防護柵　解析　崩壊土砂防護柵　エネルギー
連絡先　〒102-0083　東京都千代田区麹町 5-7-2　ゼニス羽田(株)　TEL03-3556-0470

© Japan Society of Civil Engineers

５．衝突作用よる各部材の保有エネルギー

解析より**図－5** の通り各部材が保有するエネルギーの時間的変化のグラフを示す．エネルギーの変化に特徴がある区間を①～⑤に区分した．

区間①　重錘衝突直後，重錘のエネルギーを金網→ワイヤ→支柱の順に保有エネルギーが増える．

区間②　支柱の保有エネルギーが大きくなり，ワイヤの保有エネルギーが延びなくなる．

区間③　再びワイヤの保有エネルギーが増加し，支柱の保有エネルギーの増加速度が落ちる．

区間④　区間②と同じような現象が発生する．

区間⑤　各部材の保有エネルギーが収束する．

ワイヤの保有エネルギーはワイヤの張力，支柱の保有エネルギーは支柱の転倒によるひずみエネルギーが大きく影響することから，以下の現象が起きたと推測した．

・区間②及び④は支柱が転倒することによりワイヤの張力が落ちる現象が起きている．

・区間③は区間②でワイヤ張力が落ちたことにより支柱の転倒が収まったが，重錘にエネルギーが残っているため，再度ワイヤ張力が上がり始める．

・ワイヤの保有エネルギーの増加と支柱の保有エネルギーの増加が交互に発生しながらエネルギーが吸収される．

なお，実験におけるワイヤ張力の時間的変化も**図－6** の通り①～⑤に区分でき，時間のずれはあるが，解析のワイヤの保有エネルギーの時間的変化との傾向は一致する．

６．まとめ

崩壊土砂・落石兼用防護柵の部材毎の保有エネルギーの時間的変化の把握を LS-DYNA を用いて試みた結果，下記の知見が得られた．

・解析では各部材の保有エネルギーの時間的変化を確認することができるため，各部材間の保有エネルギーの移動の把握に有用である．

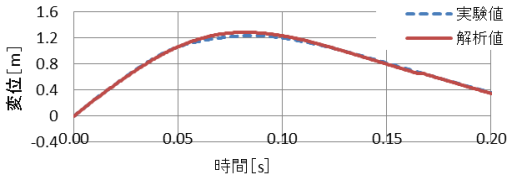
・ワイヤの保有エネルギー（張力）の時間的変化の傾向は実験と解析で一致する．

参考文献

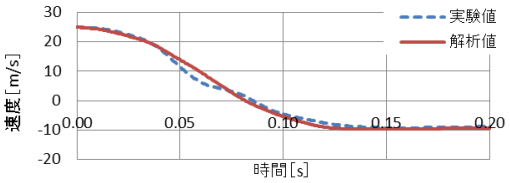
1）国土交通省告示第 332 号　平成 13 年 3 月

2) 落石対策便覧：日本道路協会　平成 29 年 12 月

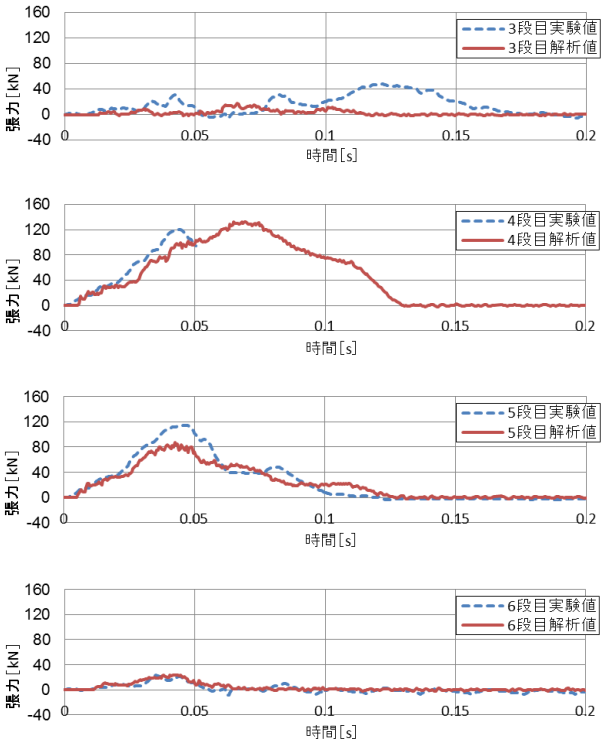
3) 手嶋良祐，福永一基，二見豪，松本栞：支柱強化型高エネルギー吸収落石防護柵実物実験の数値解析　第 12 回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集



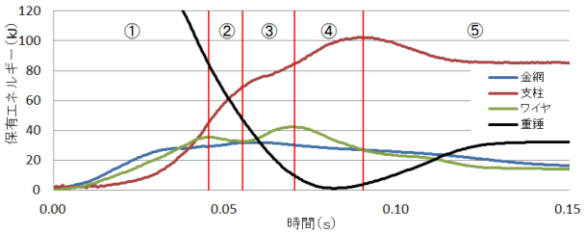
図－2　重錘変位量



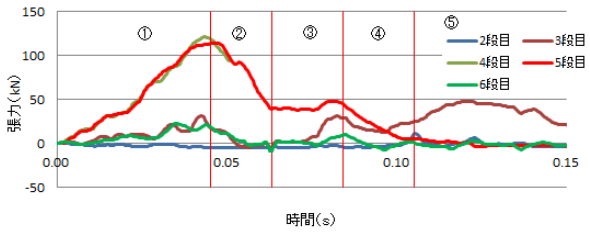
図－3　重錘速度



図－4　ワイヤ張力



図－5　各部材の保有エネルギーの時間的変化



図－6　実験におけるワイヤ張力の時間的変化

© Japan Society of Civil Engineers